



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 197 00 720 A 1**

②1 Aktenzeichen: 197 00 720.1
②2 Anmeldetag: 11. 1. 97
④3 Offenlegungstag: 16. 7. 98

⑤1 Int. Cl. 6:
H 01 S 3/23
H 01 S 3/25
G 02 B 27/10
G 02 B 27/10
G 02 B 5/32
G 02 B 3/08
// G03F 7/00

DE 197 00 720 A 1

⑦1 Anmelder:
LDT GmbH & Co. Laser-Display-Technologie KG,
07552 Gera, DE

⑦4 Vertreter:
Dr. Werner Geyer, Klaus Fehners & Partner, 80687
München

⑦2 Erfinder:
Wallenstein, Richard, Prof. Dr., 67269 Grünstadt,
DE; Beier, Bernard, 54295 Trier, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:

DE 69 0 26 69 6T2
US 47 94 345
US 47 57 268
US 46 49 351
US 46 48 092
US 35 77 093

CLARKSON, W.A., HANNA, D.C.: Two-mirror beam-
shaping technique for high-power diode bars.

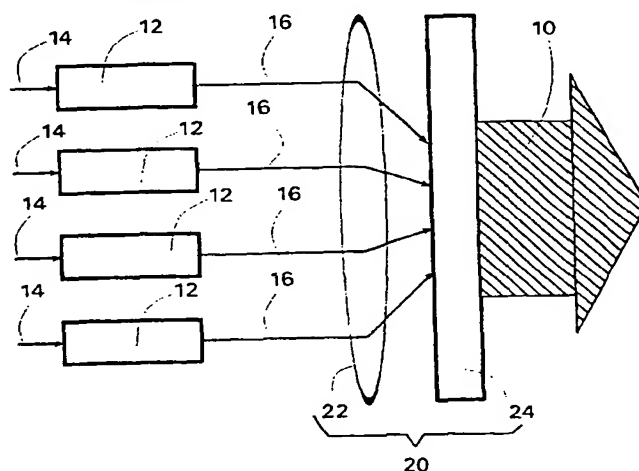
In: Optics Letters, 1996, Vol. 21, No. 6,
S. 375-377;
MEHUYS, D., GOLDBERG, L., WELCH, D.F.: 5.25-W
CW
New-Diffraction-Limited Tapered-Stripe
Semiconduc-
tor Optical Amplifier. In: IEEE Photonics Techno-
logy Letters, 1993, Vol. 5, No. 10, S. 1179-1182;
OSINSKI, J.S. u.a.: Phased array of high-power,
coherent, usonolithic flared amplifier master
oscillator power amplifiers. In: Appl.Phys.Lett.,
1995, Vol. 60, No. 5, S. 556-558;
KATHMAN, A., JOHNSON, E.: Binary Optics: New
Diffractive Elements for the Designer's Tool Kit.
In: Photonics Spectra, September 1992, S. 125-132;
SIEGMAN, A.E.: Defining and Measuring Laser
Beam
Quality. In US-Buch: Solid State Lasers: New
Development and Applicators. Eds. M. Inguscio
and
R. Wallenstein, Plenum Press, New York 1993,
S. 13-28;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen eines kohärenten Lichtbündels

⑤7 Bei einem Verfahren und einer Vorrichtung zum Erzeu-
gen eines kohärenten Lichtbündels (10), bei dem bzw. der
 $n > 1$ primäre kohärente Lichtbündel (14) mit zueinander
fester Phasenbeziehung jeweils in einen von n optischen
Verstärkern (12) geleitet werden, wonach aus diesen Ver-
stärkern (12) n sekundäre Lichtbündel (16) herausgeführt
werden, werden die n sekundären Lichtbündel (16) mit ei-
nem ersten optischen System (20) durch phasengerechte
Superposition zu dem zu erzeugenden kohärenten Licht-
bündel vereinigt.



DE 197 00 720 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Erzeugen eines kohärenten Lichtbündels, bei dem $n > 1$ primäre kohärente Lichtbündel mit zueinander fester Phasenbeziehung jeweils in einen von n optischen Verstärkern geleitet werden, wonach aus diesen Verstärkern n sekundäre Lichtbündel herausgeführt werden.

Weiter bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zum Erzeugen eines kohärenten Lichtbündels, die $n > 1$ optische Verstärker mit je einem Eingang, dem jeweils eines von n primären Lichtbündeln mit zueinander fester Phasenbeziehung zugeführt ist, und mit je einem Ausgang, aus dem jeweils eines von n sekundären Lichtbündeln entnehmbar ist, aufweist.

Die maximale Ausgangsleistung von Diodenlasern ist durch die maximale zulässige Intensität des laserinternen Lichtfeldes an den Austrittsflächen des Laserkristalls begrenzt. Innerhalb einer weniger als $1\ \mu\text{m}$ dicken Schicht auf der Austrittsfläche absorbiert das Diodenlasermaterial das interne Lichtfeld, hin zu hoher Lichtfluß kann dort zu thermischer Zerstörung der Lichtaustrittsfläche beziehungsweise der Lichtaustrittsfläche führen. Die maximale Leistungsdichte für eine Austrittsfläche beträgt z. B. für Galliumarsenid $50\ \text{mW}/\mu\text{m}^2$.

Die effizienteste Methode zur Erhöhung der Ausgangsleistung von Diodenlasern beinhaltet deshalb die Vergrößerung der Austrittsfläche, beispielsweise in lateraler Richtung. Hierdurch erhält man Diodenlaser mit einer transversalen Emittierbreite von typischerweise 60 bis $500\ \mu\text{m}$ und einer Emittierhöhe von ungefähr $1\ \mu\text{m}$. Diese Diodenlaser werden als Breitstreifendiodenlaser bezeichnet.

Bei der einfachsten Form der aktiven Zone ist eine rechteckige Stromkontaktfläche und somit ein rechteckiger Verstärkungsbereich vorgesehen. Derartige Diodenlaser nennt man auch "broad-area-diode-laser". In neueren Konstruktionen werden auch konische Formen für die aktive Zone verwendet und die Laser werden üblicherweise als "tapered-amplifier" bezeichnet.

Eine alternative Bauform, bei den sogenannten "diode-laser-arrays", ist durch die parallele Anordnung von schmalen Kontaktstreifen in einem Abstand von ungefähr $10\ \mu\text{m}$ zum Erreichen einer vergrößerten Austrittsfläche gegeben.

Die Emission der Hochleistungsdiode-laser erfolgt in einer großen Zahl von longitudinalen Moden und aufgrund der großen lateralen Breite der verstärkenden Zone in einer Vielzahl von überwiegend transversalen Resonanzmoden. Diese Modenstruktur bestimmt die spektrale und räumliche Strahlcharakteristik des erzeugten Laserlichts. Die maximale Ausgangsleistung der genannten Hochleistungsdiode-laser liegt im Bereich von 1 bis 20 W im Dauerstrichbetrieb.

Eine weitere Erhöhung der Leistung durch Verbreiterung der aktiven Zone ist durch die Anregung von Quernmoden im Laser beschränkt. Soll eine höhere Ausgangsleistung erreicht werden, geht man üblicherweise zu einer parallelen Anordnung von gleichen Diodenlasern über. In diesem Fall spricht man von Diodenlaserbarren. Der Abstand zwischen den einzelnen Diodenlasern ist dabei so groß, daß kein Überlapp der Lichtfelder, also keine Lichtfeldkopplung, möglich ist. Die emittierte Strahlung setzt sich spektral und räumlich aus der Strahlung der einzelnen Diodenlaser zusammen. Die Emission ist spektral breitbandig und nicht beugungsbegrenzt.

Zum Erzeugen schmalbandiger beugungsbegrenzter Strahlung eignen sich insbesondere Oszillator-Verstärker-Systeme. Diese Systeme bestehen aus einem Einsstreifendiodenlaser und einem oder mehreren Halbleiterverstärkern.

Als Verstärker eignen sich sowohl trapezförmige Diodenlaser, Breitstreifendiodenlaser als auch Diodenlaserarrays. Damit die transversalen Moden des Verstärkers unterdrückt werden, wird das Reflexionsvermögen der Facetten, also der Austrittsflächen, stark, insbesondere unter 10^{-5} reduziert. Der Verstärker emittiert ohne Einkopplung eines primären Lichtbündels nur verstärktes Licht aus Spontanemissionen. Wird dagegen ein primäres Lichtbündel geeigneter Wellenlänge eingekoppelt, erhöht sich die emittierte Leistung aufgrund der durch das einfallende Lichtbündel stimulierten Emission. Die spektralen und räumlichen Eigenschaften des Laserlichts aus dem primären Lichtbündel bleiben dabei erhalten.

Bei den Verstärkern unterscheidet man Systeme mit einfachem und doppeltem Durchgang. Der doppelte Durchgang, also wenn das eingekoppelte primäre Lichtbündel nach Durchgang durch die aktive Zone reflektiert wird und die aktive Zone nochmals durchläuft, ist bei senkrechtem Einfall des primären Lichtbündels auf die Austrittsfläche der Austrittsfläche unmöglich, da dann im Verstärker Filamentierung aufgrund der Wechselwirkung mit dem laseraktiven Material der hin- und rücklaufende Welle auftritt. Der einfache Durchgang ist dagegen günstiger, da die gesamte aktive Zone überstrichen werden kann und keine Wechselwirkung zwischen einer hin- und rücklaufenden Welle auftritt.

Mit einem derartigen Verstärkersystem, in das ein kohärentes Lichtbündel zur Verstärkung eingeleitet wird, wie er in dem Artikel von D. Mehuys, L. Goldberg und D.F. Welch, "5.25-W cw near-diffraction-limited tapered-stripe semiconductor optical amplifier", IEEE Photonics Technology Letters, Bd. 5, Nr. 10, Oktober 1993, S. 1179-1182, dargestellt ist, wurde eine Laserleistung von bis zu 5.25 W realisiert.

In dem Artikel von J.S. Osinski, D. Mehuys, D.F. Welch, J.S. Major, R.G. Waarts, K.M. Dzurko und R.J. Lang, "Phased array of high-power, coherent, monolithic tapered amplifier master oscillator amplifiers", Applied Physics Letters, 66 (5), 30. Januar 1995, S. 556-558, wird über eine monolithisch integrierte Parallelschaltung von Verstärkern berichtet, bei der ein Eingangslichtbündel über Wellenleiter in primäre Lichtbündel geteilt und in Verstärker eingeleitet wurde. Bei einer parallelen Anordnung von bis zu 10 Verstärkern im quasikontinuierlichen Betrieb konnten bis zu 40 W erzeugt werden. Im Fernfeld eines beugungsbegrenzten Strahls waren damit allerdings nur 5.25 W erreichbar. Diese immer noch hohe Leistung war auch nur deswegen möglich, weil zwischen den Wellenleitern zum Leiten der primären Lichtbündel und den Verstärkern Einrichtungen zur Phasenjustierung vorgesehen waren, mit denen das Strahlprofil in gewissen Grenzen steuerbar war. Trotzdem konnte die Leistung für einen beugungsbegrenzten Strahl nicht bis zu den erwarteten 40 W erhöht werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, mit dem bzw. der die Leistung im beugungsbegrenzten Strahl bei mehreren, aus einer Vielzahl von Verstärkern austretenden sekundären Lichtbündeln deutlich erhöht werden kann.

Die Aufgabe wird ausgehend vom gattungsgemäßen Stand der Technik dadurch gelöst, daß die n sekundären Lichtbündel mit einem ersten optischen System durch phasengerechte Superposition zu dem zu erzeugenden kohärenten Lichtbündel vereinigt werden.

Zum Verständnis der Erfindung sei hier der M^2 -Parameter, neuerdings auch Beugungsmaßzahl genannt, eingeführt. Der M^2 -Parameter gibt das Verhältnis der Divergenzwinkel im Fernfeld des zu charakterisierenden Strahls zu einem bezüglich Strahltaile, Wellenlänge u.ä. äquivalenten Gaußschen Strahl an. Der hier interessierende M^2 -Parameter ist in

der Publikation von M. Inguscio und R. Wallenstein, "Solid State Lasers", Plenum Publishing Corporation, New York, 1993, S. 13-28, näher definiert.

Wenn die M^2 -Parameter dieser Lichtbündel nach Ausfall der sekundären Lichtbündel aus den Verstärkern gleich denen der einfallenden primären Lichtbündel sind, sollte man erwarten, daß eine Addition der aus den Verstärkern austretenden sekundären Lichtbündel möglich ist und auch im Fernfeld eine hohe Leistung erreicht werden kann. Diesbezügliche Versuche blieben jedoch erfolglos. Der Grund wird darin gesehen, daß ein Großteil der dem Verstärker zugeführten elektrischen Leistung im Verstärkerbarran verbleibt und diesen aufheizt. Zur Abfuhr der Wärme wird der Verstärker üblicherweise gekühlt, im Verstärkerbarran stellt sich jedoch eine parabelförmige Temperaturverteilung ein. Durch diese Verteilung ist die optische Weglänge der einzelnen Verstärker unterschiedlich: Im Zentrum der Verstärkerbarrans herrscht die höchste Temperatur und damit ergibt sich dort die größte optische Wellenlänge aufgrund von Wärmeausdehnung. Die Phasendifferenz zwischen den einzelnen Strahlen wird daher im Verstärker verändert. Bei Al-Ga-As-Systemen beträgt der Koeffizient für eine Phasenverschiebung ungefähr $15 \text{ mÅ/2}\pi$.

Es wird angenommen, daß aufgrund dieser Temperaturdifferenzen unterschiedliche Phasen erzeugt werden, so daß sich die n sekundären Lichtbündel aus den Verstärkern nicht vollständig addieren können.

Allerdings kann mit optischen Systemen erfindungsgemäß eine phasengerechte Superposition erreicht werden, indem man die durch die Temperaturverteilung gegebenen Phasendifferenzen bei der Superposition der n sekundären Lichtbündel mittels einer insbesondere diffraktiven Optik ausgleicht.

Derartige diffraktive Optiken transmittieren die auf sie auftreffenden Lichtbündel praktisch zu 100%, so daß auch keine thermischen Effekte in der diffraktiven Optik selbst erwartet werden, die zu zusätzlichen Phasenverschiebungen führen könnten.

Das gemäß der Erfindung erste optische System kann dann so ausgelegt werden, daß der M^2 -Parameter der vereinigten sekundären Lichtbündel nach phasengerechter Superposition gleich dem der n Primärstrahlen ist.

Vorteilhafterweise sollten daher auch die M^2 -Parameter für alle in die Verstärker einfallenden Lichtbündel gleich sein. Dies erreicht man beispielsweise gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens dadurch, daß aus einigen der n sekundären Lichtbündel ein Teilstrahl abgezweigt wird, der als primäres Lichtbündel einem anderen Verstärker zugeführt wird, so daß eine optische Reihenschaltung entsteht.

Aufgrund dieser Reihenschaltung ist sichergestellt, daß der Strahlparameter eines einfallenden primären Lichtbündels möglichst gleich dem aus dem vorgeschalteten Verstärker austretenden Lichtbündel ist.

Bei einer anderen weiterführenden Weiterbildung der Erfindung wird ein Teilstrahl des sekundären Lichtbündels des ersten Verstärkers in dieser Reihenschaltung als primäres Lichtbündel in den ersten Verstärker dieser Reihenschaltung rückgekoppelt. Damit stellen sich die Strahlparameter für alle Verstärker in der Reihenschaltung im wesentlichen gleich ein.

Außerdem kann man die gesamte Verstärkerstruktur entsprechend der Größe des rückgekoppelten primären Lichtbündels sogar selbst als Oszillator bezeichnen. Dabei läßt sich für alle Lichtbündel, die dann durch die Verstärker dieser Reihenschaltung laufen, ein nahezu optimales Strahlprodukt erreichen.

Das Strahlprodukt läßt sich weiter verbessern, indem in

einem Lichtweg eines dieser Teilstrahlen ein räumlich/spektraler Filter vorgesehen wird und mit diesem Filter einfrequente, multifrequente oder breitbandige Ausgangsstrahlung für das zu erzeugende kohärente Lichtbündel eingestellt wird. Neben Einstellungen der spektralen Eigenschaften des in den in Reihenschaltung befindlichen Verstärkern umlaufenden Lichtbündels kann vor allen Dingen durch räumliches Begrenzen dieses Lichtbündels, beispielsweise mittels Blenden, ein optimaler M^2 -Parameter des zu erzeugenden kohärenten Lichtbündels erreicht werden.

Eine andere bevorzugte Weiterbildung der Erfindung ist dagegen auf die Parallelschaltung von Verstärkern gerichtet. Bei dieser wird ein Längslichtbündel über eine zweite, insbesondere diffraktive, Optik in Teillichtbündel zerlegt, die als primäre Lichtbündel mindestens einigen Verstärkern zugeführt werden.

Wesentlich ist hier die Zerlegung in Teillichtbündel, die den Verstärkern als primäre Lichtbündel zugeführt werden. Dies hat den Vorteil, daß man auch hier wieder den M^2 -Parameter für die in die Verstärker einfallenden primären Lichtbündel gleich dem des Längslichtbündels einstellen kann, was die kohärente Superposition des aus den Verstärkern austretenden sekundären Lichtbündeln wesentlich vereinfacht. Auch aufgrund dieser Weiterbildung kann erreicht werden, daß nahezu die gesamte, von den Verstärkern als Licht ausgehende, in dem sekundären Lichtbündel zur Verfügung stehende Energie im Fernfeld zur Verfügung steht.

Erfindungsgemäß ist eine Vorrichtung zum Erzeugen eines kohärenten Lichtbündels ausgehend vom eingangs genannten Stand der Technik dadurch gekennzeichnet, daß ein erstes optisches System am Ausgang der n Verstärker vorgesehen ist, das die n sekundären Lichtbündel durch phasengerechte Superposition in dem zu erzeugenden kohärenten Lichtbündel vereinigt.

Die Vorrichtung enthält damit das erste, insbesondere diffraktive optische System am Ausgang der n Verstärker zur phasengerechten Superposition, mit dem die n sekundären Lichtbündel verfahrensgemäß zu dem zu erzeugenden kohärenten Lichtbündel vereinigt werden.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Vorrichtung weist das erste diffraktive optische System ein oder mehrere Hologramme auf.

Hologramme sind als diffraktives optisches System besonders deswegen geeignet, weil sie nahezu vollständig transmittieren und auch in einfacher Weise als Beugungsbild herstellbar sind, das zur phasengerechten Superposition geeignet ist. Dies erlaubt eine einfache Anpassung auf verschiedene Verstärkersysteme. Man kann beispielsweise bei einem vorgegebenen Verstärkersystem zur Erzeugung dieses Hologramms die vom Verstärker ausgehenden sekundären Lichtbündel auf eine Photoplatte geeigneter Auflösung richten und gleichzeitig ein zweites Lichtbündel mit den gewünschten Strahlparametern des zu erzeugenden Strahls auf diese Photoplatte lenken. Das auf der Photoplatte entstehende Interferenzbild, das nach Entwickeln entstehende Hologramm, hat dann genau die Eigenschaft, daß die n sekundären Lichtbündel sich zu dem gewünschten Lichtbündel vereinigen. Dieses Verfahren eignet sich besonders zur schnellen Anpassung eines ersten optischen Systems an eine beliebige Verstärkeranordnung und so zur Entwicklung von Prototypen, da es sich sehr einfach und wenig aufwendig für die jeweiligen apparativen Gegebenheiten erzeugen läßt.

Bei einer anderen vorzugsweisen Weiterbildung der Erfindung weist das erste diffraktive System eine oder mehrere binäre Optiken auf.

Für den Einsatz und die Schaffung binärer Optiken sei insbesondere auf den Übersichtsartikel von A. Kathman und E. Johnson, "Binary optics: New Diffractive Elements for

"The Designer's Tool Kit.", Photonics Spectra, September 1992, verwiesen. Mit solchen binären Optiken wird eine hologrammähnliche Beugungsstruktur mit computererzeugten lithographischen Masken stufenweise hergestellt. Dieses Verfahren eignet sich besonders für die Massenproduktion, indem eine hologrammähnliche Struktur mit Techniken, wie sie von der Herstellung von VLSI-Schaltkreisen bekannt sind, in ein Substrat eingätzt wird. Mit derartigen Techniken sind bei Massenfertigung hochkomplexe Strukturen zum Preis von wenigen Mark fertig bar.

Neben der kostengünstigen Herstellung für Massenprodukte bietet dieses Verfahren in gewissen Grenzen, die beispielsweise durch die Erhaltung des Strahlprodukts gegeben sind, auch einen großen Freiheitsgrad in der Auslegung derartiger diffraktiver erster optischer Systeme, da bei der Bekanntheit der Längangsparameter praktisch beliebige Strahlprofile für das erzeugte kohärente Laserbündel modelliert werden können.

Gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist das erste diffraktive optische System eine oder mehrere Strahlteilerplatten auf.

Strahlteilerplatten sind aus der Optik bekannt. Mit ihnen lassen sich n Teilstrahlen zu einem einzigen Strahl phasengerecht zusammenfassen oder umgekehrt ein einziger Strahl in n phasengleiche Systeme zerlegen. Auch derartige Strahlteilerplatten sind besonders günstig zu fertigen. Hier sollte aber zweckmäßigerweise noch die Phasendifferenz aufgrund der Temperaturgradienten innerhalb der Verstärkerbaren kompensiert werden. Dafür kann dann die Strahlteilerplatte beispielsweise mit einer binären Optik oder einem Hologramm kombiniert werden.

Die Verfahrensvorteile, die sich bei den vorstehend schon beschriebenen Kopplungen der Verstärker herausgestellt haben, werden bei den Vorrichtungen durch folgende Weiterbildungen verwirklicht:

hinter mindestens einem der Verstärker ist ein Strahlteiler vorgesehen, mit dem ein Teilstrahl des sekundären Teillichtbündels am Ausgang dieses Verstärkers auskoppelbar und dieser Teilstrahl einem anderen Verstärker als primäres Lichtbündel zugeführt ist;

- mindestens m Verstärker mit $1 < m < n$ oder alle Verstärker sind über die Strahlteiler in Reihe geschaltet und der ausgekoppelte Teilstrahl vom letzten Verstärker dieser Reihenschaltung ist dem ersten dieser Reihenschaltung rückgekoppelt zugeführt;

- und/oder in mindestens einem Weg dieser Teilstrahlen von einem zum nächsten Verstärker ist ein räumlich/spektraler Filter vorgesehen, insbesondere in Form einer Blende, eines Resonators, einer Single-Mode-Faser, eines Gitters, eines Prismas oder eines aktiven optischen Filters zur Kontrolle der Vorrichtung, insbesondere für eintrequente, multifrequente oder breitbandige Strahlung des zu erzeugenden kohärenten Lichtbündels.

Ferner läßt sich auch die Parallelschaltung der Verstärker, wie vorstehend beim Verfahren ausgeführt wurde, gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung dadurch verwirklichen, daß die Vorrichtung ein zweites optisches System zum kohärenten und beugungsbegrenzten Zerlegen eines Längangslichtbündels in Teillichtbündel aufweist, die mindestens einigen Verstärkern als primäre Lichtbündel zugeführt sind.

Insbesondere erhält man besonders günstige Bedingungen zur Erhaltung des M^2 -Parameters beziehungsweise des Strahlproduktes, wenn das zweite optische System zum Zerlegen und das erste diffraktive optische System zum Zusammen-

menführen aus gleichartigen Bauelementen ausgebildet sind. Aus dem Prinzip der Umkehrbarkeit von Lichtstrahlen erkennt man, daß wenn das erste diffraktive optische System und das zweite optische System gleichartige Bauelemente, oder sogar als gleiche Bauelemente ausgebildet sind, das M^2 -Produkt beziehungsweise das Strahlprodukt des erzeugten kohärenten Lichtbündels im wesentlichen gleich dem Längangslichtbündel sein sollte. Auch durch diese Weiterbildung ist also sichergestellt, daß im Fernfeld des erzeugten Laserstrahls eine sehr hohe Leistung, die praktisch durch die Summe der einzelnen Verstärkerleistungen gegeben ist, ermöglicht wird.

Um die gleichen Vorteile wie beim ersten diffraktiven optischen System auszunutzen, ist bei den folgenden Weiterbildungen vorgesehen:

- daß das zweite optische System ein oder mehrere Hologramme aufweist,
- daß das zweite optische System eine oder mehrere binäre Optiken aufweist,
- daß das zweite optische Systeme eine oder mehrere Strahlteilerplatten aufweist.

Für das zweite optische System ist die Strahlteilerplatte besonders vorteilhaft. Sie zerlegt ohne Änderung des Strahlproduktes einen einfallenden Teilstrahl in n gleiche Strahlen mit fester Phasenbeziehung. Der Aufwand, beispielsweise für die vorstehend genannte Parallelschaltung von Verstärkern, ist damit entsprechend gering.

Bei einer vorzugsweisen Weiterbildung der Erfindung läßt sich das Fernfeld des zu erzeugenden kohärenten Lichtbündels dadurch optimieren, daß eine Einstellvorrichtung zum Einstellen der Temperatur von jedem der n optischen Verstärker vorgesehen ist und daß aufgrund dieser Einstellvorrichtung das erzeugte kohärente Lichtbündel auf eine vorgegebene Strahlform und/oder Strahlleistung des durch das erste diffraktive optische System zusammengeführten Lichtbündels eingestellt ist.

Wegen der getrennten Einstellbarkeit der Temperatur von den n optischen Verstärkern läßt sich die vorhergehend genannte Phasenverschiebung aufgrund der Temperatur ausnutzen, um das zusammengeführte kohärente Lichtbündel im Fernfeld zu optimieren. Damit ist ein zusätzlicher Freiheitsgrad gegeben, der mittels einer Gesamteinstellung der Temperatur für alle Verstärker nicht möglich gewesen wäre und beispielsweise weitere optische Bauelemente zur Phasenverschiebung nötig gemacht hätte. Es läßt sich über diese Einstellung sogar nach Alterung der Verstärker ohne Modifikation in den optischen Systemen immer noch ein gutes Strahlprofil bzw. eine hohe Strahlleistung erreichen.

Man könnte die Temperatur auch durch äußere Widerstandsheizungen oder Peltier-Elemente zum Abführen der überschüssigen Leistung der Verstärker einstellen. Bei einer vorteilhaften Weiterbildung ist jedoch vorgesehen, daß die Temperatur mindestens eines Verstärkers über dessen Betriebsstrom einstellbar ist.

Aufgrund der Temperatursteuerung über den Betriebsstrom wird der Aufwand entsprechend gering gehalten. Weiter läßt sich das genannte Parabelverhalten des Temperaturgradienten bei einer Einstellung der Temperatur über dem Betriebsstrom reproduzierbar einstellen, so daß die Laserleistung im Fernfeld, beziehungsweise die Form des erzeugten kohärenten Lichtbündels ebenfalls nahezu optimal und mit hoher Stabilität gewährleistet ist.

Insbesondere wird die Reproduzierbarkeit dann besonders hoch, wenn die Temperatur des Verstärkers gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung über die Einstellvorrichtung nicht nur gesteuert, sondern sogar geregelt

ist.

Eine weitere Verbesserung erreicht man gemäß einer weiterführenden Weiterbildung der Erfindung, bei der die Einstellvorrichtung durch eingangsseitige Signale ansteuerbar ist, ein Sensor zumindest zum zeitweiligen Erfassen des Strahlprofils des erzeugten kohärenten Lichtbündels zur Erzeugung der eingangsseitigen Signale zum Steuern der Einstellvorrichtung sowie eine Schaltung zum Auswerten des erfaßten Strahlprofils vorgesehen sind, wobei die Schaltung ein Netzwerk enthält, mit dem das Strahlprofil über die Einstellvorrichtung auf die vorgegebene Strahlform und/oder Strahlleistung des kohärenten Lichtbündels geregelt ist.

Hier wird also nicht die Temperatur indirekt, sondern die Strahlform und/oder die Strahlleistung des kohärenten Lichtbündels direkt geregelt.

Damit wird das Strahlprofil direkt kontrolliert, statt indirekt über eine Temperaturerfassung wie bei einer üblichen Temperaturregelung, so daß sich auch gemäß dieser Weiterbildung optimale Strahlprofile und/oder Strahlleistungen einstellen lassen.

Die Anzahl der Ausgänge des Netzwerkes ist zur optimalen Regelung zweckmäßigerweise gleich der Anzahl der Verstärker. Der Sensor kann beispielsweise ein das Strahlprofil aufnehmendes CCD-Element sein, wobei die Bildpunktsignale das Strahlprofil wiedergeben. Das verlangte Netzwerk wird in einem derartigen Fall wegen der hohen Anzahl von Bildpunkten beliebig komplex. Deswegen ist es beispielsweise zweckmäßig, für das Netzwerk ein neuronales Netzwerk einzusetzen, das die optimalen Bedingungen für den Ausgangsstrahl lernen kann. Wenn dieses Netzwerk für bestimmte Typen der Vorrichtung optimiert ist, kann allerdings, insbesondere für die Serienproduktion auch ein Netzwerk eingesetzt werden, das diesem neuronalen Netzwerk im optimierten Zustand nachgebildet ist.

Vorstehend wurde schon gesagt, daß die entsprechende Regelung über das Netzwerk zumindest zeitweilig erfolgen soll, beispielsweise direkt nach Anschalten der Vorrichtung. Eine ständige Kontrolle des Strahlprofils mit der Möglichkeit zum sofortigen Nachregeln ist jedoch bei einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung gegeben, bei der ein teildurchlässiger Spiegel hinter dem ersten optischen System vorgesehen ist, der einen Teil des durch das erste optische System kohärent zusammengeführten und superponierten Lichtbündels auf den Sensor richtet.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen bezugnehmend auf die Zeichnung nachfolgend noch näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Verfahrens und der Vorrichtung zum Erzeugen eines kohärenten Lichtbündels;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels mit einer optischen Parallelschaltung von Verstärkern;

Fig. 3 eine lasernde Anordnung mit einer Reihenschaltung von Verstärkern;

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels sowohl mit Parallelschaltung als auch mit Reihenschaltung von Verstärkern;

Fig. 5 eine schematische Darstellung zur Erläuterung einer Herstellungsmethode für binäre Optiken;

Fig. 6 eine Strahlteilerplatte, wie sie in den Ausführungsbeispielen von **Fig. 1** bis **Fig. 4** eingesetzt werden kann;

Fig. 7 eine schematische Darstellung einer Schaltungsanordnung zur Steuerung von Strömen der Verstärker in den vorhergehenden Ausführungsbeispielen.

In **Fig. 1** ist das bei der Erfindung zugrundeliegende Prinzip zur Erzeugung eines kohärenten Lichtbündels **10** schematisch dargestellt. In allen Ausführungsbeispielen werden

$n = 4$ Verstärker **12** zur Verstärkung von n primären Lichtbündeln **14** eingesetzt. Die Zahl Vier ist dabei nur beispielhaft. Das Prinzip läßt sich für die gezeigte Anordnung auch für $n = 2$ oder jede beliebige andere Zahl von Verstärkern **12** und primären Lichtbündeln **14** verwenden.

Die Verstärker **12** sind optische Halbleiterverstärker, wie sie auch aus dem eingangs genannten Stand der Technik bekannt sind. Durch diese werden primäre Lichtbündel **14** verstärkt, so daß aus ihnen leistungsstärkere sekundäre Lichtbündel **16** ausfallen. Die Verstärker **12** werden für diese Leistungserhöhung mit einem Strom gespeist. Eine Möglichkeit zur Regelung dieser Ströme wird anschließend in Verbindung mit **Fig. 7** näher erläutert.

Bei der Erzeugung des kohärenten Lichtbündels **10** werden die sekundären Lichtbündel **16** kohärent addiert, d. h. die einzelnen sekundären Lichtbündel werden bezüglich ihrer Phase gleichmäßig superponiert. Dazu dient ein erstes optisches System **20**, das nachfolgend näher beschrieben wird.

Das optische System **20** basiert im wesentlichen auf dem phasengerechten Zusammenfügen von sekundären Lichtbündeln **16**. Die Phase jedes sekundären Lichtbündels **16** läßt sich demgemäß mit Hilfe von Beugung zur phasengerechten Superposition justieren. Dies ermöglicht es auch, die durch die unterschiedlichen Laufzeiten im Verstärker **12** durch unterschiedliche Temperatur im Zentrum und am Rand auftretenden Phasendifferenzen zu kompensieren, so daß der gesamte Strahl in dem zu erzeugenden Lichtbündel **10** kohärent vereinigt wird.

Obwohl das optische System **20** beispielsweise unter Einsatz einer entsprechend ausgebildeten Phasenplatte verwirklicht werden kann, so ist es dennoch in **Fig. 1** und in den folgenden Figuren als zwei getrennte optische Elemente **22** und **24** dargestellt, damit seine Funktionsweise besser erläutert werden kann.

Das optische Element **22**, das beispielsweise eine normale Linse sein kann, sorgt dafür, daß die Abstände zwischen den Verstärkern **12** optisch kompensiert werden, indem die sekundären Lichtbündel **16** auf nahezu einen Punkt zusammengeführt werden. Das optische Element **24** dient hier zur phasengerechten Superposition der einzelnen Lichtbündel und zur Ablenkung in Richtung des kohärenten Lichtbündels **10**. Allgemein kann man beispielsweise zur Herstellung des optischen Elements **24** ein Hologramm erzeugen, indem man ein Verstärkersystem gemäß **Fig. 1** bei den gewünschten Arbeitsparametern betreibt, jedoch das optische Element **24** durch eine Photoplate ersetzt, auf die gleichzeitig ein Laserstrahl in Gegenrichtung zu dem zu erzeugenden Lichtbündel **10** mit den gewünschten Eigenschaften gerichtet wird. Dann entsteht auf der Photoplate ein Interferenzmuster. Nach Belichten mit diesem Interferenzmuster und Entwickeln der Photoplate erhält man dann ein optisches Element **24**, das allein aufgrund von Beugung in der Lage ist, das gewünschte kohärente Lichtbündel **10** zu erzeugen.

In gleicher Weise kann man statt der beispielhaft genannten Linse für das optische Element **22** ebenfalls eine als Beugungsmuster ausgebildete Fresnelsche Zonenplatte einsetzen. Weiter läßt sich das optische Element **24** auch durch eine Strahlteilerplatte, die später in Verbindung mit **Fig. 6** näher erläutert wird, verwirklichen. Dann ist es jedoch empfehlenswert, für das optische Element **22** eine diffraktive Optik einzusetzen, beispielsweise ebenfalls ein Hologramm, mit dem unterschiedliche Phasenlaufzeiten in den Verstärkern **12** aufgrund von Temperaturunterschieden kompensiert werden.

Die vorstehenden Erörterungen zeigen, daß eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Ausbildung des ersten optischen Sy-

stems 20 möglich sind. Wichtig ist dabei, daß mindestens ein optisches Element 22 oder 24 vorgesehen ist, mit dem die kohärenten Lichtbündel 16 wieder phasengerecht superponiert werden können, damit auch im Fernfeld eine hohe Parallelität des zu erzeugenden kohärenten Lichtbündels 10 möglich wird. Optisch ist dafür eine Begrenzung durch das Strahlprodukt und den M^2 -Parameter gegeben, der die Strahleigenschaften im Fernfeld beschreibt. Durch geeignetes phasengerechtes Superponieren ergeben sich aber auf jeden Fall ein Strahlprodukt und ein M^2 -Parameter, die im wesentlichen nur durch die entsprechenden Größen der primären Lichtbündel 14 bestimmt sind. Damit läßt sich ein System schaffen, mit dem Lasersstrahlung im Multiwellbereich erzeugt werden kann. Das kohärente Lichtbündel 10 ist nahezu beugungsbegrenzt und die spektralen Eigenschaften des Systems werden im wesentlichen nur durch die Eigenschaften der primären Lichtbündel 14 bestimmt.

Ein derartiges System ist praktisch beliebig skalierbar, d. h. durch Zufügen von mehr Verstärkern 12 mit primären Lichtbündeln 14 läßt sich theoretisch eine beliebig hohe Leistung im kohärenten Lichtbündel 10 erzeugen. Bei praktischen Anwendungen ist die obere Grenze nur dadurch gegeben, daß eine zu hohe Laserleistung das optische System 20 zerstören könnte. Um die Zerstörungsschwelle möglichst gering zu halten, ist es vorteilhaft, als erstes optisches Element 22 eine diffraktive Optik zu wählen, mit der die Phasen Anpassung vorgenommen wird, und als optisches Element 24 ein System, das hohe Leistung vertragen kann, beispielsweise eine Strahlteilerplatte, wie sie in Fig. 6 beispielhaft gezeigt ist.

Wie Versuchsaufbauten gezeigt haben, zeichnet sich das System von Fig. 1 auch durch einen kompakten Aufbau und eine hohe mechanische Stabilität aus. Insbesondere ist durch den Einsatz von Halbleiterlasern eine effiziente Umwandlung von elektrischer in optische Leistung möglich. Mit Verstärkern 12, die mit Hilfe der Halbleitertechnologie angefertigt sind, läßt sich sowohl eine große Gleichartigkeit als auch eine hohe Dichte erreichen. Insbesondere sind auch alle Komponenten für Massenfertigung geeignet, vor allen Dingen, wenn statt des beispielhaften Hologramms eine binäre Optik eingesetzt wird, wie sie in Verbindung mit Fig. 5 näher erläutert werden wird.

Damit optimale Leistungen und Strahlparameter für das kohärente Lichtbündel 10 möglich sind, wurden bei den Versuchsaufbauten für die Ausführungsbeispiele nur geringe Toleranzen bezüglich der Emittierposition senkrecht zur aktiven Zone der einzelnen Verstärker zugelassen. Das Reflexionsvermögen am Eingang und Ausgang der Verstärker 12 wurde ferner mit Antireflexschichten unterhalb von 10^{-5} gehalten. Weiter wurden separate Stromsteuerungen für jeden einzelnen Verstärker gewählt und optimale Strahlparameter über die Ströme geregelt, wie dies nachfolgend beispielhaft anhand von Fig. 7 verdeutlicht werden wird.

Damit die sekundären Lichtbündel 16 sich zu dem zu erzeugenden kohärenten Lichtbündel 10 geeignet addieren lassen, sollten die primären Lichtbündel 14 zueinander eine feste Phasenbeziehung aufweisen. Weiter kann man die Strahlparameter des zu erzeugenden kohärenten Lichtbündels 10 auch verbessern, wenn die primären Lichtbündel 14 ebenfalls möglichst gleiche Strahlparameter aufweisen. Wie dies verwirklicht werden kann, wird nachfolgend an verschiedenen Beispielen gemäß Fig. 2 bis Fig. 4 verdeutlicht.

In Fig. 2 ist ein zweites optisches System 30 zum kohärenten und beugungsbegrenzten Zerlegen eines kohärenten Eingangslichtbündels 32 in die primären Lichtbündel 14 vorgesehen. Dieses zweite optische System 30 kann einfach eine Strahlteilerplatte sein. Im Beispiel von Fig. 2 ist das zweite diffraktive optische System 30 jedoch ebenfalls mit

zwei optischen Elementen 34 und 36 ausgebildet. Das optische Element 34 ist damit baugleich mit dem optischen Element 24 des ersten optischen Systems 20 so wie auch das optische Element 36 baugleich mit dem optischen Element 22 des ersten optischen Systems 20 ist. Damit wird aufgrund des Prinzips der Umkehrbarkeit von Lichtwegen sichergestellt, daß das zu erzeugende kohärente Lichtbündel 10 praktisch dieselben Strahleigenschaften hat wie das eintreffende Eingangslichtbündel 32.

Bei optimaler Auslegung der Vorrichtung gemäß Fig. 2 hängen damit die Strahleigenschaften des zu erzeugenden kohärenten Lichtbündels 10 im wesentlichen nur von der Qualität des Eingangslichtbündels 32 ab. Um von den Eigenschaften dieses Eingangslichtbündels im wesentlichen unabhängig zu werden, ist in Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel gezeigt, bei dem die Verstärker 12 selbst zum Aufbau einer lasierenden Struktur angeordnet sind.

Dazu wird das aus einem Verstärker 12 austretende sekundäre Lichtbündel 16 jeweils über einen teildurchlässigen Spiegel 40 geteilt, wobei einer der Teilstrahlen jeweils über einen zweiten Spiegel 42 einem nachfolgenden Verstärker 12 als primäres Lichtbündel 14 zugeführt ist. Vom letzten Spiegel 40 wird der letzte Teilstrahl eines sekundären Lichtbündels 16 über einen optischen Isolator 44 und einen Spiegel 45 und ein räumlich/spektraler Filter 46 sowie einem Spiegel 47 wieder in den ersten der Verstärker 12 eingeleitet. Damit bildet die Verstärkeranordnung einen Ringlaser aus. Die Verstärker 12 sind dabei alle in Reihe geschaltet, was bedeutet, daß in jeden Verstärker 12 bei gleicher Qualität der Spiegel 40 alle primären Lichtbündel 14 die gleiche Strahlqualität haben, so daß das erste optische System 20 die sekundären Lichtbündel 16 optimal kohärent superponieren kann.

Der räumlich/spektrale Filter 46 bestimmt dabei die räumlichen und spektralen Eigenschaften des kohärenten Lichtbündels 10. Mit einer Blende läßt sich im wesentlichen der Strahldurchmesser der umlaufenden Teilstrahlen bestimmen. Weiter lassen sich bei Aufbau des Filters 46 mittels eines Resonators, einer Single-Mode-Faser, eines Gitters, eines Prismas oder eines aktiven optischen Filters die spektralen Eigenschaften der in Fig. 3 gezeigten Vorrichtung innerhalb der durch den Aufbau gegebenen physikalischen Grenzen praktisch beliebig einstellen.

In Fig. 4 ist ferner ein Beispiel gezeigt, das die positiven Eigenschaften der Ausführungsbeispiele von Fig. 2 und Fig. 3 vereinigt. Dabei sind jeweils zwei Verstärker 12 mit Spiegeln 40 und 42 in Reihe geschaltet. Angeregt werden die Verstärker jedoch nur von den zwei primären Lichtbündeln 14, die durch ein zweites optisches System 30 aus einem Eingangslichtbündel 32 durch Zerlegung gewonnen wurden.

Abschließend sei zu dem Beispiel von Fig. 2 und Fig. 4 noch ausgeführt, daß auch diese Systeme so ausgebildet werden können, daß die Verstärker 12 selbst zum Lasern eingesetzt werden. Um eine derartige Vorrichtung zu schaffen, kann man beispielsweise mit einem teildurchlässigen Spiegel einen Teil des kohärenten Lichtbündels 10 abzweigen, der über einen Isolator und ein räumlich/spektraler Filter sowie Umlenkspiegel wieder als Eingangslichtbündel 32 zugeführt wird.

Während in den vorigen Beispielen Fig. 1 bis Fig. 4 im wesentlichen Hologramme für die kohärente Addition bzw. Zerlegung des ersten optischen Systems bzw. des zweiten optischen Systems und insbesondere für die optischen Elemente 22 sowie 24, bzw. 34 und 36 angesprochen wurden, die es gestatten, für jede beliebige Vorrichtung ein optisches System 20 bzw. 30 zu schaffen, mit dem das zu erzeugende Lichtbündel 10 optimale Strahlparameter aufweist, so ist je-

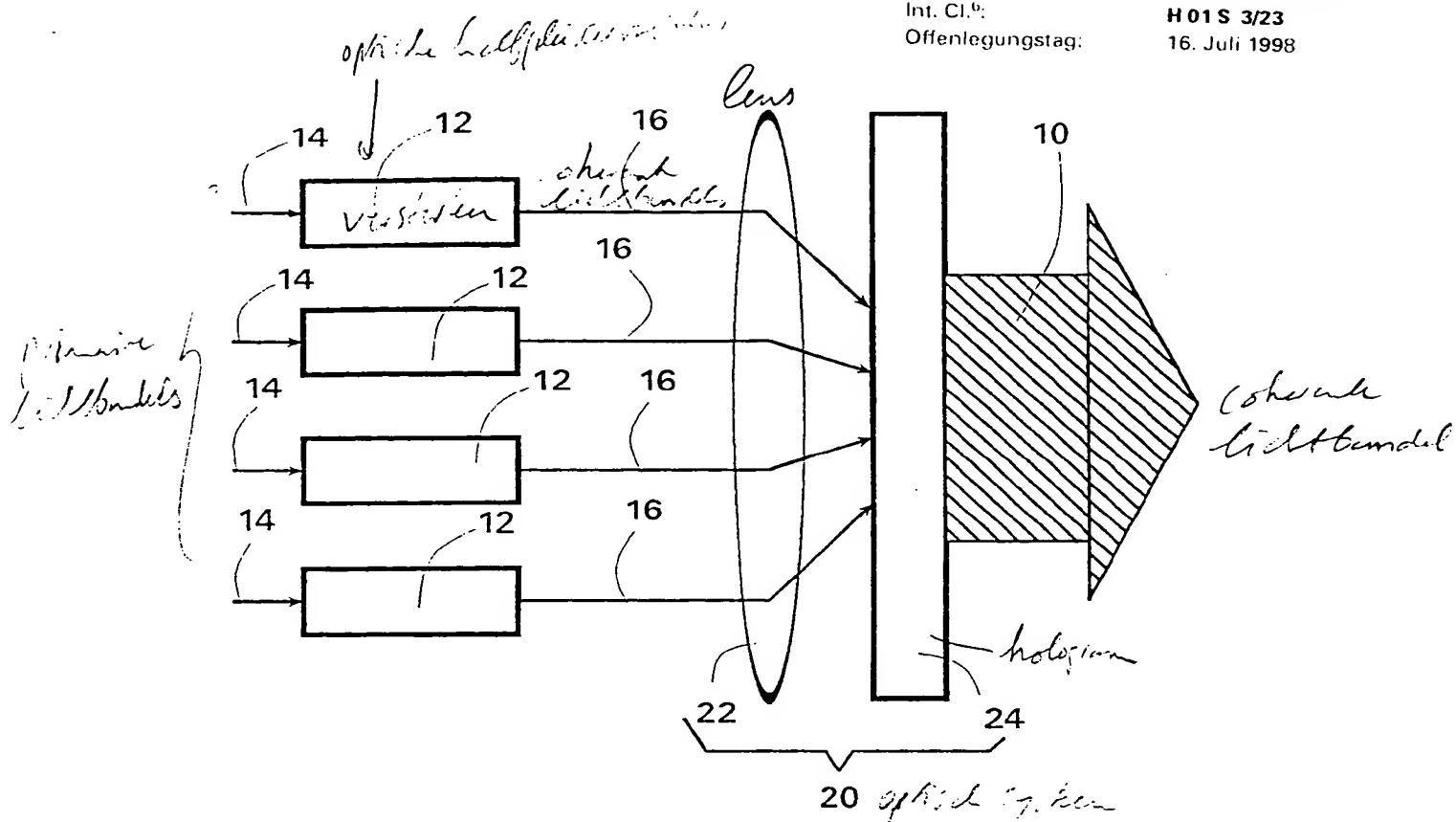


Fig. 1

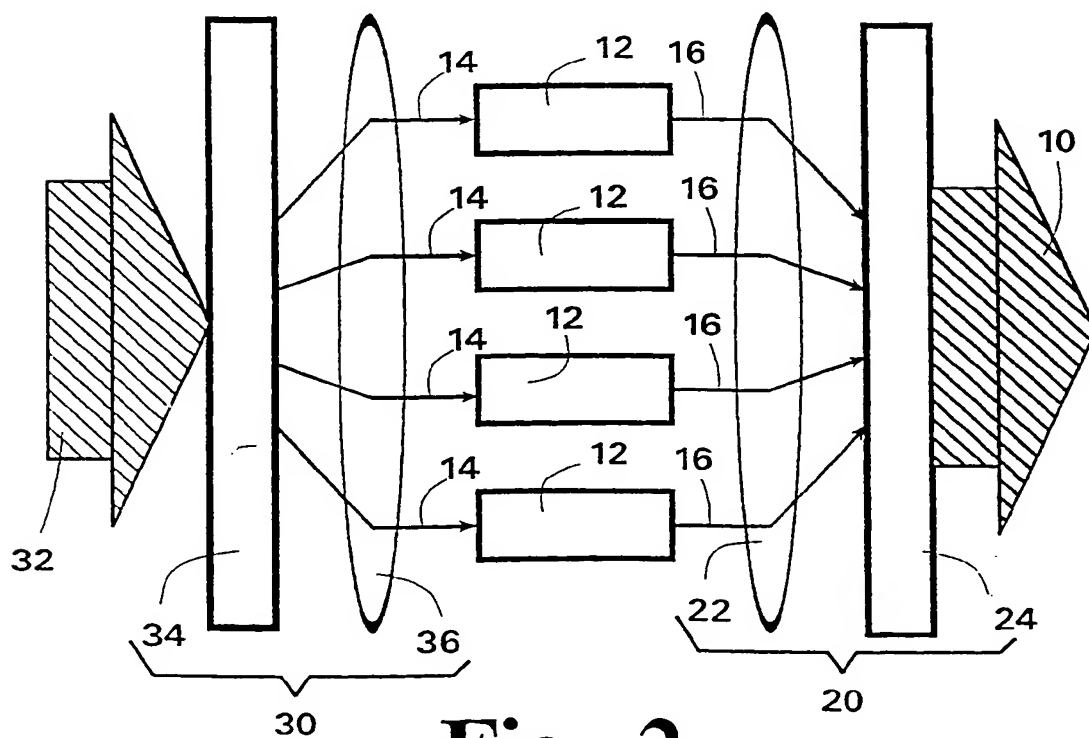


Fig. 2

aufweist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einstellvorrichtung (90) zum Einstellen der Temperatur von jedem der n optischen Verstärker (12) vorgesehen ist und daß aufgrund dieser Einstellvorrichtung (40) das erzeugte kohärente Lichtbündel (10) auf eine vorgegebene Strahlform und/oder Strahlleistung des durch das erste diffraktive optische System (20) zusammengeführten kohärenten Lichtbündels (10) eingestellt ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur mindestens eines Verstärkers (12) über dessen Betriebsstrom einstellbar ist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur jedes Verstärkers (12) über die Einstellvorrichtung (40) geregelt ist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellvorrichtung (40) durch eingangsseitige Signale ansteuerbar ist, daß ein Sensor (46) zumindest zum zeitweiligen Erfassen des Strahlprofils des erzeugten kohärenten Lichtbündels (10) sowie eine Schaltung (100) zum Auswerten des erfaßten Strahlprofils zur Erzeugung der eingangsseitigen Signale zum Steuern der Einstellvorrichtung (40) vorgesehen sind, wobei die Schaltung (100) ein Netzwerk enthält, mit dem das Strahlprofil über die Einstellvorrichtung (90) auf die vorgegebene Strahlform und/oder Strahlleistung des kohärenten Lichtbündels (10) geregelt ist.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß ein teildurchlässiger Spiegel (92) hinter dem ersten optischen System (20) vorgesehen ist, der einen Teil des durch das erste optische System (20) kohärent zusammengeführten und superponierten Lichtbündels (10) auf den Sensor (96) richtet.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

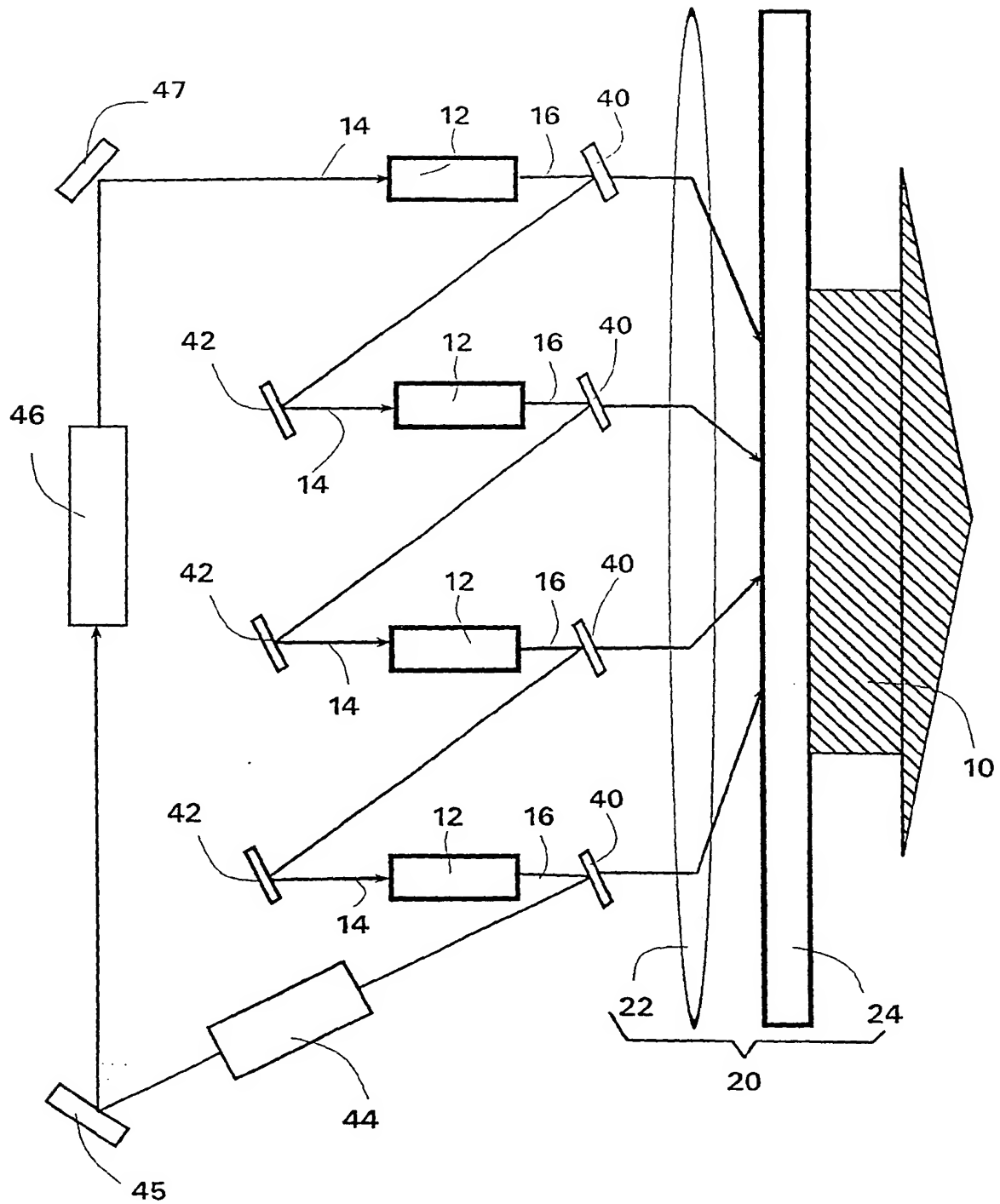


Fig 3

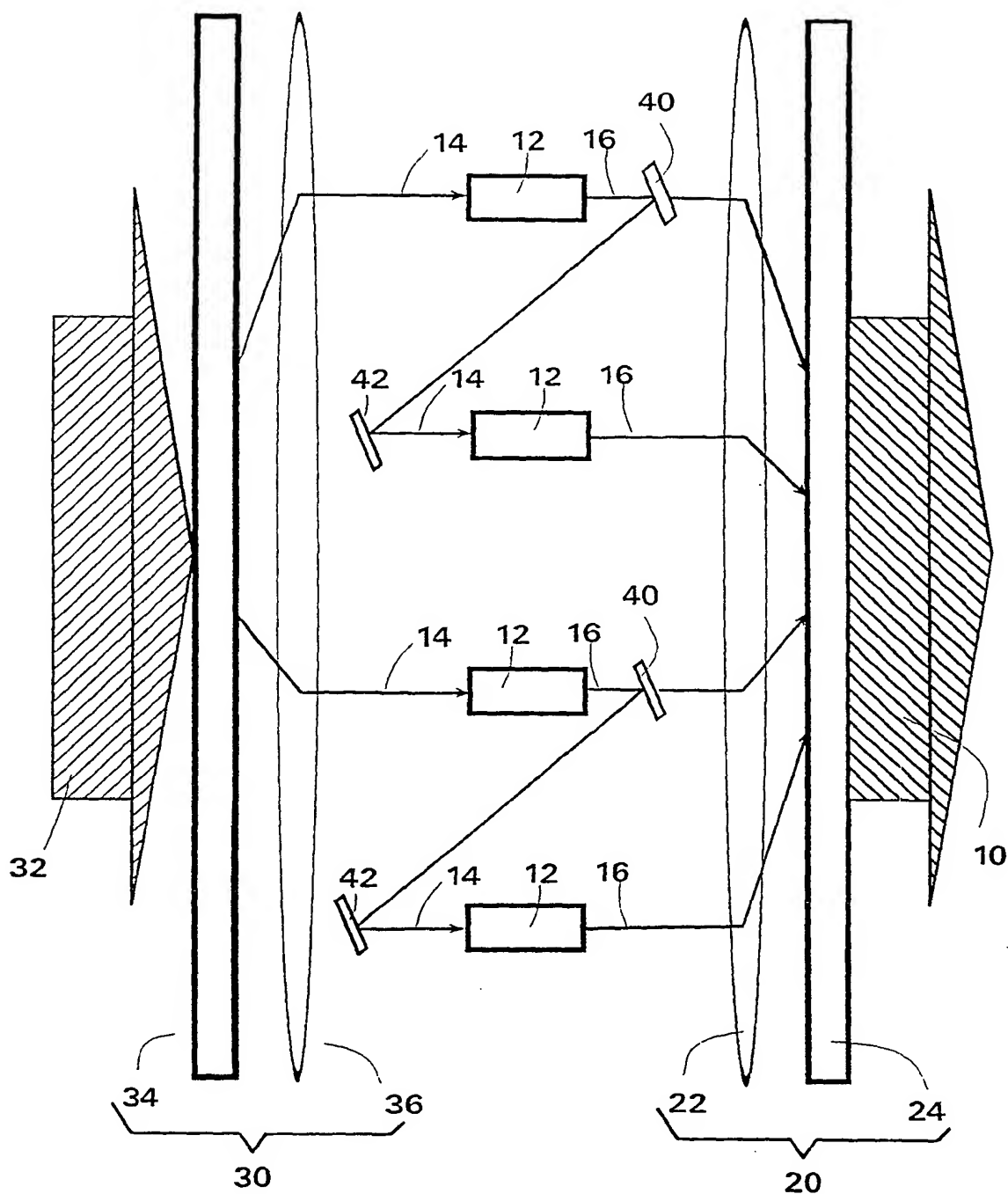


Fig. 4

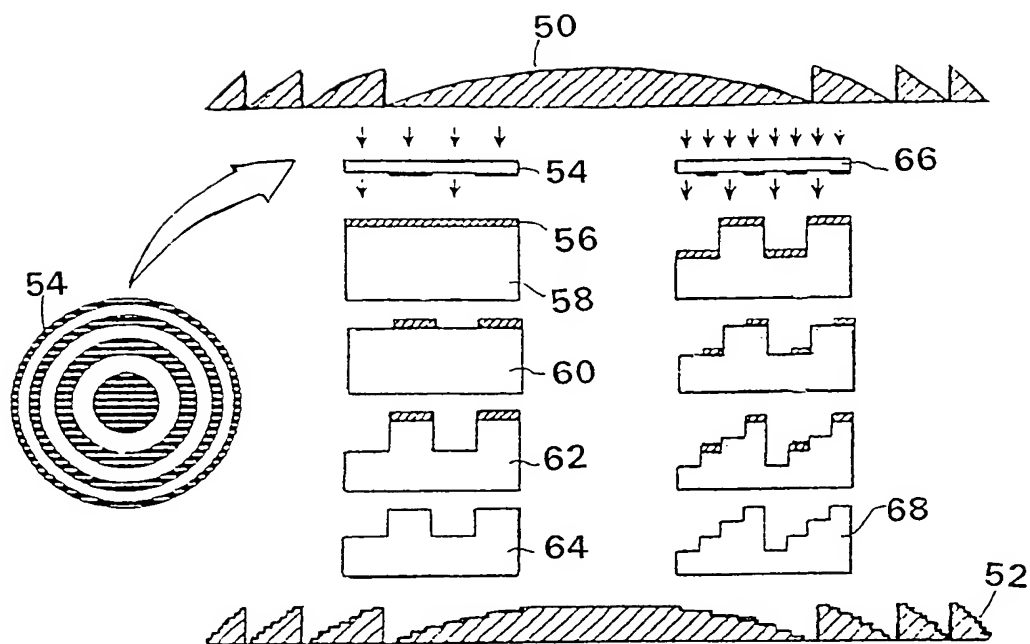


Fig. 5

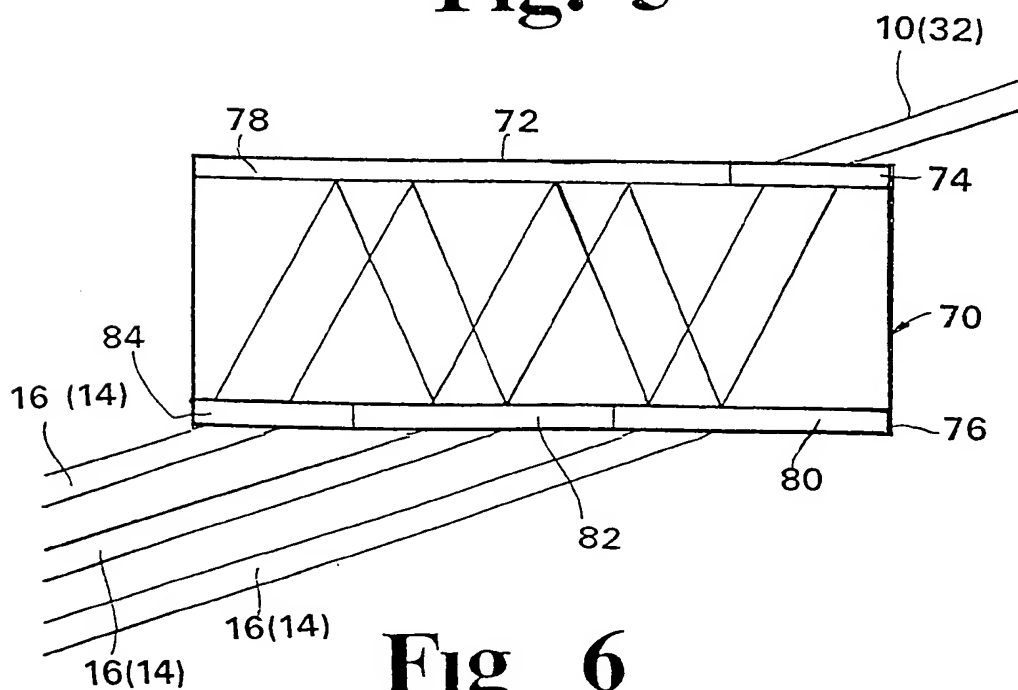


Fig 6

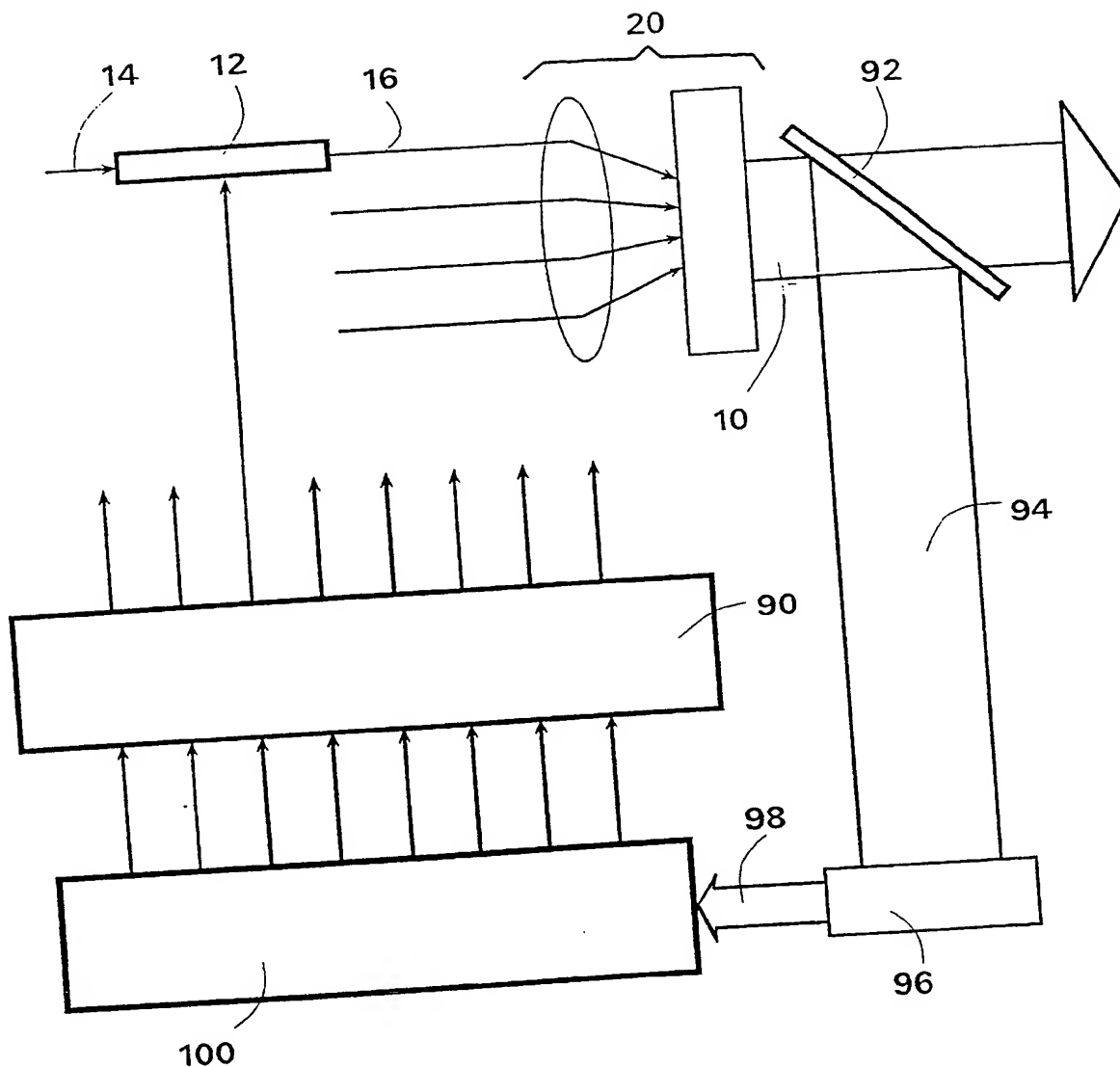


Fig. 7

doch für eine Massenproduktion der Einsatz binärer Optiken wesentlich vorteilhafter. Diese können mit der Technologie, wie sie für die Fertigung von VLSI-Schaltkreisen bekannt ist, hergestellt werden. Mit dieser Technologie ist die Massenproduktion mit einem Herstellungspreis von nur wenigen Mark oder sogar nur Pfennigen für die optischen Systeme 20 und 30 möglich.

Das Herstellungsverfahren sei hier kurz anhand von Fig. 5 erläutert. Eine beliebige Beugungsstruktur läßt sich durch einen Computer berechnen, der dann die entsprechenden Lithographiemasken für das dargestellte Verfahren erzeugt. Mit Hilfe von Photolithographie, d. h. durch jeweiliges Belichten einer Photoschicht, die auf einem Substrat angeordnet wird, und nachfolgendem Entwickeln der Photoschicht sowie Ätzen des Substrats entstehen jeweils zwei Stufen unterschiedlicher Tiefe. Diese Stufen formen dann bei entsprechender Anzahl von Masken eine Treppenstruktur, die aufgrund der computerberechneten Lithographiemasken mit beliebiger Genauigkeit an ein gewünschtes Beugungsmuster angepaßt werden kann.

In Fig. 5 ist beispielhaft eine Beugungsstruktur 50 gezeigt, die durch dieses Herstellungsverfahren mittels einer binären Optik 52 angenähert wird. Auf der linken Seite ist mit 54 eine erste Photomasken gezeigt, mit der eine Struktur aus Photolack 56 auf einem Substrat 58 beschichtet wird. Der anschließende Photoschritt führt dann zu einer Struktur 60, die nach Ätzen die Struktur 62 ergibt und nach Beseitigung des Photolacks 56 zu der binären Struktur 64 führt. Der Name "binäre Optik" rührt daher, daß mit jedem Schritt zwei Ebenen für unterschiedliche Phasenverschiebung für das auf die Optik auftreffende Licht geschaffen werden.

Der gleiche Ablauf ist auf der rechten Seite von Fig. 5 gezeigt, bei der eine doppelt so feine Maske 66 zum Belichten verwendet wird. Es ist deutlich erkennbar, daß bei den entsprechenden Belichtungs- und Ätzschritten anschließend eine Treppenstruktur 68 entsteht. Diese Treppenstruktur 68 hat vier Stufen, ein weiterer Photoschritt würde schon 8 Stufen ergeben. Diese Genauigkeit von 8 Stufen ist im Beispiel von der Struktur 52 gezeigt. Wie man deutlich erkennt, nähert diese Struktur 52 die beispielhaft genannte Beugungsstruktur 50 schon mit hoher Genauigkeit an. Dies ist für die genannten Anwendungen im allgemeinen ausreichend.

Als Ausgang für die Struktur 50 läßt sich das beispielhaft genannte Hologramm verwenden, das dann als binäre Optik nachgebildet wird. Das im Hologramm gebildete Interferenzmuster läßt sich jedoch auch in einer Computersimulation über Superposition von Wellen der Längs- und Ausgangsstrahlen berechnen, wonach sogleich die Masken mittels Computersteuerung erzeugt werden können.

Ein kohärentes Zerlegen und Zusammenführen ist weiter mit einer Strahlteilerplatte 70 gemäß Fig. 6 möglich. In Fig. 6 ist beispielhaft das Zusammenfügen dreier sekundärer Lichtbündel 16 in ein zu erzeugendes kohärentes Lichtbündel 10 gezeigt. Man kann aufgrund des Prinzips der Umkehrbarkeit der Lichtwege jedoch auch ein Lichtbündel 32 in primäre Lichtbündel 14 zerlegen. Die diesbezüglichen Bezugszeichen sind in Fig. 6 in Klammern angegeben.

Zur Erläuterung der Wirkungsweise sei hier nur die Zerlegung eines Längsstrahls 32 in die primären Lichtbündel 14 dargestellt.

Ein Längslichtbündel 32 fällt auf eine erste Oberfläche 72 der Strahlteilerplatte 70 ein, wird in einem Einfallsegment 74 von dieser gebrochen und auf eine zweite Oberfläche 76 gegenüberliegend der ersten Oberfläche 72 geworfen, wo es entweder reflektiert wird oder als eines der zu teilenden primären Lichtbündels 14 durchgelassen wird. Das in der Strahlteilerplatte 70 reflektierte Licht fällt auf ein Segment 78 der ersten Oberfläche 72 auf, wo es wieder zur

Oberfläche 76 zurückreflektiert und abhängig von der Zahl der Reflexionen weitere primäre Lichtbündel 14 austreten.

Damit die austretenden primären Lichtbündel 14 gleiche Intensität erhalten, ist auch die zweite Oberfläche 76 in Segmente 80, 82 und 84 für jedes austretende primäre Lichtbündel 14 unterteilt. Bei Zerlegung in drei Lichtbündel 14 beträgt der Reflexionskoeffizient des mit 80 bezeichneten ersten Segments 66, 6% und das des zweiten, die Bezugsziffer 82 aufweisenden Segments 50%. Segment 84 ist nur mit einer Antireflexionsbeschichtung versehen, so daß das letzte primäre Lichtbündel 14 vollständig aus der Strahlteilerplatte ausfallen kann.

Die oben näher erläuterten Segmente 80, 82, 84, 78 sind im Ausführungsbeispiel als dielektrische Schichten ausgeführt. Es können dafür aber auch andere Ausbildungen vorgesehen werden, wie teildurchlässige Spiegel o. ä.

Aus diesen Zahlen wird auch deutlich, wie man derartige Reflexionsbedingungen festzulegen hat. Der m -te Strahl bei Zerlegung in n Strahlen muß jeweils aus einem Segment ausfallen, dessen Reflexionsgrad

$$1 - \frac{1}{n+1-m}$$

ist.

Die Phasendifferenz der einzelnen Lichtbündel 16 ergibt sich normalerweise aus dem Plattenabstand der ersten Platte 72 und der zweiten Platte 76. Es ist jedoch möglich, durch Aufbringen von Beugungsstrukturen auf den Oberflächen 72, 74 und 76 jeweils die zum Superponieren geeignete Phase einzustellen, wobei beispielsweise auch die Phasenabweichung durch die Verstärker 12 aufgrund des beschriebenen parabolförmigen, die Phase ändernden Temperaturverlaufs berücksichtigt werden können.

Die dem Verstärker 12 zugeführte elektrische Leistung führt nämlich zu einer Temperaturerhöhung im Inneren. Dadurch, daß der Verstärker nur außen gekühlt wird, entstehen auch Temperaturgradienten, die sich aufgrund der Längenausdehnung des Verstärkermaterials in unterschiedlichen Phasenverschiebungen äußert. Für Al-GaAs-Systeme beträgt der Koeffizient für eine Phasenverschiebung etwa $15 \text{ mÅ}/2\pi$. Diese Phasenverschiebung kann auch mit den diffraktiven Optiken in den optischen Systemen 20 oder 30 kompensiert werden. Außerdem kann die Gesamtphasendifferenz eines Verstärkers 12 jedoch auch durch zusätzliche externe Phasenverschieber verändert werden.

Damit das System stabil arbeitet, ist es zweckmäßig, jeden Verstärker 12 getrennt über einen Strom anzusteuern und diesen möglichst sogar so zu regeln, daß die Temperatur des Verstärkers 12 gleich bleibt, damit sich die sekundären Lichtbündel 16 zu jedem Zeitpunkt im zu erzeugenden kohärenten Lichtbündel 10 optimal kohärent addieren. Eine derartige Temperaturregelungsschaltung ist beispielhaft in Fig. 7 ausgeführt. Zum Einstellen der einzelnen Ströme von Verstärkern 12, in denen in Fig. 7 nur einer beispielhaft gezeigt ist, dient eine Einstellvorrichtung 90, die die jeweiligen Ströme regelt. Die einfachste Art der Regelung ist die Temperaturerfassung der Verstärker 12 und eine getrennte Nachregelung durch die Einstellvorrichtung 90 für jeden Verstärker 12. Gemäß dem Ausführungsbeispiel von Fig. 7 wurde jedoch eine wesentlich bessere Regelung vorgesehen, bei der die Stromregelung des Verstärkers 12 direkt auf die Strahlparameter des kohärenten Lichtbündels 10 überwacht wird. Mit Hilfe eines teildurchlässigen Spiegels 92 wird ein Teilstrahl 94 aus dem zu erzeugenden kohärenten Lichtbündel 10 ausgekoppelt und auf ein CCD-Element 96 geworfen. Das CCD-Element 96 hat 256×256 Bildelemente, d. h. am

Ausgang 90 entstehen 65 536 Signale, die das auf das CCD-Element 96 auffällende Lichtbündel 94 elektrisch als Bild charakterisieren. Daraus können nun für die Verstärker 12 Signale zur Steuerung der Temperatur gewonnen werden.

Zur Reduzierung der 65 536 Signale zur optimalen Ansteuerung von vier oder auch nur 10 Verstärkern 12 sind sehr komplexe Netzwerke nötig.

Im Ausführungsbeispiel von Fig. 7 wurde dies mit einem neuronalen Netzwerk 100 geleistet, das in der Lage war, die über 65 536 mal 4 Koeffizienten zur Bestimmung des Stromes zu lernen, um immer ein optimales Strahlprofil des kohärenten Lichtbündels 10 zu erzeugen.

Diese Schaltungsart ist für den Standardbetrieb bei Massenproduktion ungeeignet. Deswegen ist geplant, zur Massenproduktion die von dem neuronalen Netzwerk als optimal gelernten Koeffizienten in einem konventionell aufgebauten Netzwerk, bei dem beispielsweise die Eingangssignale zum Bilden von Ausgangssignalen über Widerstände an die Ausgänge des Netzwerks gekoppelt sind, nachzubilden.

Das Ausführungsbeispiel von Fig. 7 ist dazu geeignet, optimale Strahlparameter unabhängig von der Betriebszeit und der Außentemperatur zu erzeugen. Für Standardanwendungen, beispielsweise Massenproduktion für ein zukünftig zu erwartendes Laserfernsehen benötigt man jedoch keine derart hochgezüchteten optimalen Strahlparameter, so daß man mit einfacheren Regelschaltungen wie einer Temperaturregelung der einzelnen Verstärker 12 auskommen wird.

Im Gegensatz zum Stand der Technik erlaubt das Zusammenfassen eines Lichtbündels durch phasengerechte Superposition wie beim ersten optischen System hohe Leistungen bei guter Strahlqualität im Fernfeld. Dies macht es möglich, auch mit Laserdiodenarrays, die die Verstärker 12 auf demselben Substrat enthalten, parallele Strahlen mit einer sehr hohen Leistung zu erzeugen, die beispielsweise für das Anwendungsgebiet des Laserfernsehens völlig ausreichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen eines kohärenten Lichtbündels (10), bei dem $n > 1$ primäre kohärente Lichtbündel (14) mit zueinander fester Phasenbeziehung jeweils in einen von n optischen Verstärkern (12) geleitet werden, wonach aus diesen Verstärkern (12) n sekundäre Lichtbündel (16) herausgeführt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß die n sekundären Lichtbündel (16) mit einem ersten optischen System (20) durch phasengerechte Superposition zu dem zu erzeugenden kohärenten Lichtbündel vereinigt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus einigen der n sekundären Lichtbündel (16) ein Teilstrahl abgezweigt und einem anderen Verstärker (12) als dem, von dem sie herausgeführt wurden, als primäres Lichtbündel (14) in einer optischen Reihenschaltung zugeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teilstrahl des sekundären Lichtbündels (16) des letzten Verstärkers (12) in dieser Reihenschaltung als primäres Lichtbündel in den ersten Verstärker (12) dieser Reihenschaltung rückgekoppelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Lichtweg einer dieser Teilstrahlen ein räumlich/spektraler Filter (46) vorgesehen wird und mit diesem Filter (46) einfrequente, multifrequente oder breitbandige Ausgangsstrahlung für das zu erzeugende kohärente Lichtbündel (10) eingestellt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Eingangsbündel

(32) über eine zweite Optik (30) in Teillichtbündel zerlegt wird, die als primäre Lichtbündel (14) mindestens einigen Verstärkern (12) zugeführt werden.

6. Vorrichtung zum Erzeugen eines kohärenten Lichtbündels (10), die $n > 1$ optische Verstärker (12) mit je einem Eingang, dem jeweils eines von n primären Lichtbündeln (14) mit zueinander fester Phasenbeziehung zugeführt ist, und mit je einem Ausgang, aus dem jeweils eines von n sekundären Lichtbündeln (16) entnehmbar ist, aufweist, gekennzeichnet durch ein erstes optisches System (20) am Ausgang der n Verstärker (12), das die n sekundären Lichtbündel (16) durch phasengerechte Superposition in dem zu erzeugenden kohärenten Lichtbündel (10) vereinigt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das erste optische System (20) ein oder mehrere Hologramme aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß das erste optische System (20) ein oder mehrere binäre Optiken (52) aufweist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das erste optische System (20) ein oder mehrere Strahlteilerplatten (70) aufweist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß hinter mindestens einem der Verstärker ein Strahlteiler (40) vorgesehen ist, mit dem ein Teilstrahl des sekundären Lichtbündels (16) am Ausgang dieses Verstärkers (12) auskoppelbar und dieser Teilstrahl einem anderen Verstärker (12) als primäres Lichtbündel (14) zugeführt ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens in Verstärker mit $(1 < m < n)$ oder alle Verstärker (12) über die Strahlteiler (40) in Reihe geschaltet sind und der ausgekoppelte Teilstrahl vom letzten Verstärker (12) dieser Reihenschaltung dem ersten dieser Reihenschaltung rückkoppelnd zugeführt ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß in mindestens einem Weg dieser Teilstrahlen von einem zum nächsten Verstärker (12) ein räumlich/spektraler Filter (46), insbesondere in Form einer Blende, eines Resonators, einer Single-Mode-Faser, eines Gitters, eines Prismas oder eines aktiven optischen Filters, zur Kontrolle der Vorrichtung, insbesondere für einfrequente, multifrequente oder breitbandige Strahlung des zu erzeugenden kohärenten Lichtbündels (10) vorgesehen ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 12, gekennzeichnet durch ein zweites optisches System (30) zum kohärenten und beugungsbegrenzten Zerlegen eines Eingangsbündels (32) in Teillichtbündel, die mindestens einigen Verstärkern (12) als primäre Lichtbündel (14) zugeführt sind.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite optische System (32) zum Zerlegen und das erste optische System (30) zum Zusammenführen als gleichartige Bauelemente ausgebildet sind.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite optische System (32) ein oder mehrere Hologramme aufweist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite optische System (32) ein oder mehrere binäre Optiken (52) aufweist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite optische System (32) eine oder mehrere Strahlteilerplatten (70)